

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000195698 A**

(43) Date of publication of application: **14.07.00**

(51) Int. Cl.

**H05H 1/46**  
**H01L 21/205**  
**H01L 21/3065**

(21) Application number: **10366984**

(22) Date of filing: **24.12.98**

(71) Applicant: **NIHON KOSHUHA CO LTD**

(72) Inventor: **SHINOHARA KIBATSU**  
**UMEZAWA KAZUTO**

**(54) IMPEDANCE MEASURING DEVICE FOR PLASMA PROCESS**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To optimize the plasma state and to improve the stability of a plasma process by providing a line coupler on a transmission line at the entrance of a chamber, and detecting a traveling wave signal and a reflected wave signal.

**SOLUTION:** A directional coupler made of a coaxial directional coupler or a waveguide directional coupler is inserted between a plasma generating chamber and a transmission line connecting a high-frequency power supply feeding high-frequency power. The signals

containing the information of the phases and amplitudes of traveling wave power and reflected wave power are extracted by the directional coupler, and signals containing the absolute value and phase of a reflection coefficient are extracted from these two signals by a high-frequency signal synthesizing/processing circuit. These signals are standardized by a standardizing circuit to obtain the (reflection coefficient absolute value x sine) signal, (reflection coefficient absolute value x cosine) signal, and reflected wave signal. These signals are converted into digital signals through an A/D converter, and the impedance or admittance of a load chamber is displayed on a Smith chart.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-195698

(P2000-195698A)

(43) 公開日 平成12年7月14日 (2000.7.14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 5 H 1/46		H 0 5 H 1/46	R 5 F 0 0 4 A 5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/205 21/3065		H 0 1 L 21/205 21/302	B

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-366984

(22) 出願日 平成10年12月24日 (1998. 12. 24)

(71) 出願人 391020986

日本高周波株式会社

神奈川県横浜市緑区中山町1119

(72) 発明者 篠原 己拔

神奈川県横浜市緑区小山町607-5

(72) 発明者 梅澤 九十

神奈川県横浜市緑区北八朔町1938-149

(74) 代理人 100094536

弁理士 高橋 隆二 (外2名)

Fターム(参考) 5F004 AA16 BA04 BB11 BB13 BB14

BC08 CB07

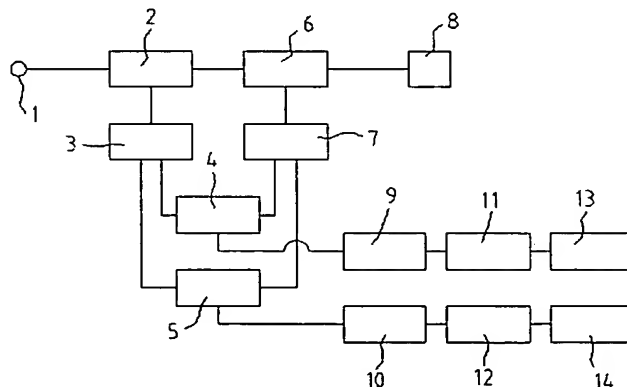
5F045 AA08 GB08

## (54) 【発明の名称】 プラズマ処理用インピーダンス測定装置

## (57) 【要約】

【課題】 チャンバー入口に直接に接続して、プラズマのインピーダンスを測定することにより、その信号の処理を行い、プラズマ状態の最適化、処理の安定性の改善が可能なプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【解決手段】 プラズマチャンバーと高周波電源の間に線路結合器を挿入し、その線路結合器により進行波と反射波電力の位相と振幅の信号をそれぞれ取り出し、この2信号から合成処理回路により反射係数の絶対値および位相を含む信号を抽出し、さらに進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と反射係数の絶対値×余弦信号とを得て、各々をA/D変換器を通してデジタル信号とし、これを処理してスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示またはアドミタンス表示をする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 高周波によるプラズマを発生させてプラズマ処理を行う装置において、プラズマ発生用チャンバーと、高周波電力を供給する高周波電源とを接続する伝送線路間に線路結合器を挿入し、該線路結合器により進行波電力および反射波電力の位相と振幅の情報をもった信号をそれぞれ取り出し、この 2 信号から高周波信号合成処理回路により反射係数の絶対値、反射係数の位相を含む信号を抽出して、さらに基準化回路を用いて進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と、反射係数の絶対値×余弦信号、および反射波信号を得て、各々を A/D コンバータを通してデジタル信号とし、デジタル信号処理を行ってスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示またはアドミタンス表示をするように構成したプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 2】 線路結合器として方向性結合器を使用した請求項 1 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 3】 方向性結合器の反射波検出用結合部分を結合方向を反転可能な構造とし、動作測定電力において進行波電力を検出しあらかじめ決められた減衰量の減衰器を挿入することにより、線路 VSWR を較正できる如くした請求項 2 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 4】 方向性結合器として同軸方向性結合器を用いた請求項 2 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 5】 方向性結合器として導波管方向性結合器を用いた請求項 2 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 6】 線路結合器より取り出した高周波信号の検出にダイオードを使用し、リニアライザ回路を用いた請求項 1 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 7】 線路結合器より取り出した高周波信号の検出に熱電対方式を用いた請求項 1 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 8】 測定したプラズマ負荷のインピーダンスの実測値からプラズマ処理に必要な情報を取り出し、それをフィードバックすることによりプラズマ処理条件の最適化をはかることを特徴とした請求項 1 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項 9】 線路結合器としての 3 ブローブまたは 4 ブローブもしくは 5 ブローブを用いた請求項 1 記載のプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明が属する技術分野】 本発明は、高周波を用いるプラズマ処理用インピーダンス測定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体ウェーファの CVD、プラズマアッシャー、エッチング等において高周波やマイクロ波のプラズマが使用されている。これらのプラズマ処理装置においてチャンバーの設計は重要である。プラズマ処理対象物、処理ガス、チャンバー構造、高周波結合器、高周波電力等によりチャンバーの高周波特性、プラズマ状態が大幅に変化するので、最適処理はもちろんのこと、一定条件を保って処理を行う場合でも大きな問題となる。

【0003】 従来はチャンバーの前に高周波自動整合回路を設けて常に自動的に高周波電源と整合をとり、その状態で整合器の手前で進行波電力一定または（進行波電力-反射電力）を一定にするような制御をしているが、整合器の整合状態により、整合回路を含んだ伝送回路の損失は大幅に変わりまた負荷の変化、負荷の位相変化等は正確には測れない。

【0004】 自動整合回路の前における結合器により取り出した信号ではコンピュータ処理をしても限界がある。

【0005】 最近のプラズマ処理は  $0.12\mu\text{m}$  程度またはこれ以上の精度の線幅のエッチング等も行ふ必要があり、チャンバーの処理条件の測定およびこの条件の保持等が非常に重要になっている。特にマイクロ波帯においては波長が短いため負荷状態の影響を受けやすく、チャンバー内の条件によって大きくプラズマ状態が変わるので、これを正しく測定し、できるだけ変化しないような構造および条件出しが必要となっている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は上記の事情に鑑みて提案されたもので、チャンバー入口に直接に接続して、プラズマのインピーダンスを測定することにより、その信号の処理を行いプラズマ状態の最適化、およびプラズマ処理の安定性の改善を行うことが可能となるプラズマ処理用インピーダンス測定装置を目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するための本発明は、高周波によるプラズマを発生させてプラズマ処理を行う装置において、プラズマ発生用チャンバーと、高周波電力を供給する高周波電源とを接続する伝送線路間に線路結合器を挿入し、該線路結合器により進行波電力および反射波電力の位相と振幅の情報をもった信号をそれぞれ取り出し、この 2 信号から高周波信号合成処理回路により反射係数の絶対値、反射係数の位相を含む信号を抽出して、さらに基準化回路を用いて進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と、反射係数の絶対値×余弦信号、および反射波信号を得て、各々を A/D コンバータを通してデジタル信号とし、デジタル信号処理を行ってスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示また



はアドミタンス表示をするように構成したプラズマ処理用インピーダンス測定装置である。

【0008】本発明においては、上記線路結合器として方向性結合器を使用するのが好ましく、同軸方向性結合器、導波管方向性結合器等を好適に用いることができる。

【0009】また、方向性結合器の反射波検出用結合部分を、結合方向を反転可能な構造とし、動作測定電力において、進行波電力を検出しあらかじめ決められた減衰量の減衰器を挿入することにより、線路VSWRを較正できるようにした。

【0010】さらに、線路結合器より取り出した高周波信号の検出にダイオードを使用し、リニアライザ回路を用いるか、または、熱電対方式を用いてもよい。熱電対方式を用いる場合にはリニアライザ回路は必要でない。

【0011】負荷の反射係数を抽出する方法として、方向性結合器を用いる方法の他に、複数のプローブを用いる方法がある。4プローブおよび5プローブを用いた方法が、たとえば小口文一、太田正光共著”マイクロ波・ミリ波測定”（コロナ社版）84～86頁に記載されている。

【0012】この方法は伝送線路に1/8波長間隔にプローブを複数個設け、同一の検波特性の検波器で定在波を検出し、得られた信号を処理し、反射係数の絶対値 $|\Gamma|$ 、偏角 $\theta$ を測定するものである。3プローブまたは4プローブの方法が用いられ、5プローブの方法も周波数特性が良いので用いられる。

【0013】本発明によるプラズマ処理用インピーダンス測定装置を用いて測定したプラズマ負荷のインピーダンスの実測値から、プラズマ処理に必要な情報を取り出し、それをフィードバックすることによりプラズマ処理条件の最適化をはかることができる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下本発明のプラズマ処理用インピーダンス測定装置について、図面を参照して具体的に説明する。

【0015】プラズマ処理装置において、チャンバーの入口の伝送線路に線路結合器を設け、進行波信号と反射波信号を検出する。線路結合器として方向性結合器を使用した場合の信号検出回路のブロック図の1例を図1に示す。図1において、1は入力端子、2および6はそれぞれ進行波信号および反射波信号を検出する方向性結合器である。

【0016】一般に方向性結合器で抽出された信号は、進行波電力および反射波電力の振幅、位相の情報を含んでいる。しかし方向性結合器の方向性により、反射波電力の抽出信号に進行波電力の抽出信号がもれこんでくるので、反射波電力の測定精度を高めるには、方向性結合器の方向性を良くすることが必要である。方向性結合器からの抽出信号の信号処理を行わず、単なる抽出信号の

(3)



特開2000-195698

4

みでは負荷インピーダンス表示はできないことは当然である。

【0017】図1において、端子1を経て入射した進行波電力成分は方向性結合器2で検出され、この出力は信号分割回路3で二分され、それぞれ合成検波器4、5に印可される。一方負荷8（この場合プラズマチャンバー）から反射されて来た反射波電力成分は、方向性結合器6で検出される。この出力は90°成分発生器7によって、同相信号と90°位相差を有する信号の2つの信号に分割され、合成検波器4、5の他の入力端子に加えられる。この合成検波器は両端子入力の和と差の電圧を2乗検波して合成するもので、一方の合成検波器4の出力電圧 $V_1$ は次の式で表され、リニアライザ9へ入力される。

$$V_1 = (k V_i)^2 |\Gamma| \cos \theta$$

ここに $k$ は比例定数、 $V_2$ は進行波電圧、 $|\Gamma|$ は負荷の反射係数の絶対値、 $\theta$ は負荷の反射係数の偏角である。

【0018】また他方の合成検波器5の出力電圧 $V_2$ は次の式で表され、リニアライザ10へ入力される。

$$V_2 = (k V_i)^2 |\Gamma| \sin \theta$$

【0019】ここで両式において $(k V_i)^2$ で基準化すれば $|\Gamma| \cos \theta$ 、 $|\Gamma| \sin \theta$ の信号を得る。進行波成分を含まない状態になるのでこれをA/D変換器11、12を通してデジタル信号に変換する。次いでデジタル制御回路13、14を用いてこの2つの信号から反射係数の絶対値 $|\Gamma|$ および偏角 $\theta$ が次の演算を行うことで得られる。

【0020】

$$\frac{|\Gamma| \sin \theta}{|\Gamma| \cos \theta} = \tan \theta$$

$$\sqrt{(|\Gamma| \cos \theta)^2 + (|\Gamma| \sin \theta)^2} = |\Gamma|$$

【0021】上記2つの式から得られた $|\Gamma|$ および $\theta$ を、スミスチャート表示された画像表示装置などに表示することにより、負荷のインピーダンスまたはアドミタンス表示をすることができる。本発明の方式では、線路結合器として使用周波数に適したものを採用することにより、他の周波数帯でも測定が可能になる。

【0022】例を挙げるならば、工業周波数の2450MHz、13.56MHz、27.12MHz、500MHz、915MHzにおけるプラズマ負荷のインピーダンス測定に有効である。

【0023】実測例を示せば、2450MHzにおけるプラズマ負荷のアドミタンス測定結果のスミスチャートを図3および図4に示す。図3と図4はガス圧条件が異なるのみである。図の○L、△M、□Hは印可電力が低、中、高であることを示す。2450MHzにおける実施例の



性能の一部を下記に示す。

【0024】

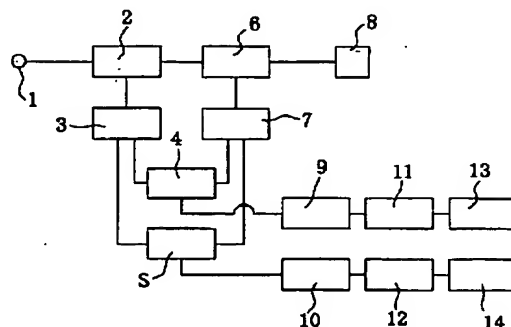
測定周波数	2450MHz±30%
測定VSWR範囲	VSWR 10以下
測定位相範囲	0～360度
測定電力範囲	定格の30～100%
通過電力	指定による。
測定誤差	反射係数：測定値の±30%以内 位相：測定値の±30%以内

【0025】

【発明の効果】13.56MHzを例にとるとプラズマの等価回路は図2に示すようにグロー放電時のキャパシタンスCおよびコンダクタンスGの並列回路で表される。しかし、グロー放電時のキャパシタンスも、グロー放電時のコンダクタンスもプラズマ状態によって変化し、したがって負荷端においてはそのRFインピーダンスを測定することによってプラズマの状態の情報が得られることになる。このインピーダンス状況はプラズマのガス圧およびプラズマに加えられる磁界によって変化する。

【0026】また、マイクロ波帯においては平板電極は使用されないがマイクロ波電力を加える方法に工夫がされている。マイクロ波では13.56MHzよりインピーダンス変化は著しい。したがってこのインピーダンスを測定、モニターしある範囲内に一定に制御を施すことにより、良好なプラズマプロセッシングを行うことができる。プラズマチャンバーのプラズマ状態はプラズマの電子温度および電子密度の状態のチャンバー内の空間

【図1】



分布状態により大きく変化する。たとえばマイクロ波電力を印可したプラズマが、それに加えるマイクロ波の電力・周波数およびマイクロ波電力源とチャンバーとの間に配置される窓の形状、窓の材質、チャンバー内のガスの種類、ガス圧力、ガス温度、ターゲットの形状、エッチングやスパッタにおける物質の問題等が影響を与える。その状態はマイクロ波回路側からみるとインピーダンスの変化として表される。特にベクトル表示の状態の位相角度に対しては極めて敏感な変化を起こす。

10 【0027】したがってプラズマチャンバーの処理条件を一定にする一つの方式として、本発明が提案するプラズマのインピーダンスを測定することにより、インピーダンスの絶対値と位相角を抽出して、チャンバー内のガス圧、ガス流量、磁界の強さ、磁界の方向、ガス温度、チャンバー形状、ターゲット等の位置等の制御を行うことができる。これによりプラズマ処理装置の安定化対策が従来でできなかった安定化が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例である信号検出回路の1例を示すブロック図

【図2】プラズマ負荷の等価回路の説明図

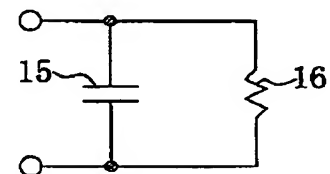
【図3】2450MHzにおけるプラズマ負荷の実測例を示すスミスチャート

【図4】2450MHzにおけるプラズマ負荷の他の実測例を示すスミスチャート。

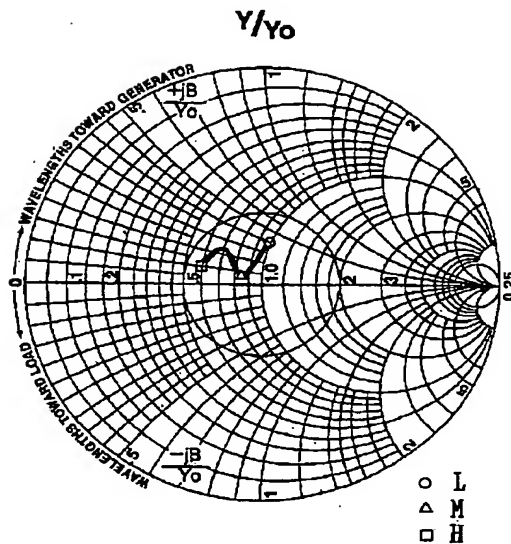
【符号の説明】

- 1 入力端子
- 2、6 方向性結合器
- 3 信号分割回路
- 4、5 合成検波器
- 7 90°成分発生器
- 8 負荷（チャンバー）
- 9、10 リニアライザ
- 11、12 A/D変換器
- 13、14 デジタル制御回路
- 15 グロー放電時のキャパシタンス
- 16 グロー放電時のコンダクタンス

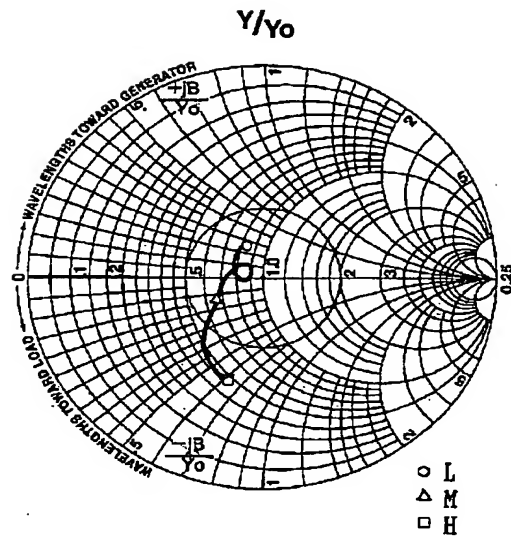
【図2】



【図 3】



【図 4】



## 【手続補正書】

【提出日】平成11年1月13日（1999. 1. 13）

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0017】図1において、端子1を経て入射した進行波電力成分は方向性結合器2で検出され、この出力は信号分割回路3で二分され、それぞれ合成検波器4、5に印可される。一方負荷8（この場合プラズマチャンバー）から反射されて来た反射波電力成分は、方向性結合器6で検出される。この出力は90°成分発生器7によって、同相信号と90°位相差を有する信号の2つの信号に分割され、合成検波器4、5の他の入力端子に加えられる。この合成検波器は両端子入力の和と差の電圧を2乗検波して合成するもので、一方の合成検波器4の出力電圧 $V_1$ は次の式で表され、リニアライザ9へ入力される。

$$V_1 = (k V_i)^2 |\Gamma| \cos \theta$$

ここに $k$ は比例定数、 $V_i$ は進行波電圧、 $|\Gamma|$ は負荷の反射係数の絶対値、 $\theta$ は負荷の反射係数の偏角である。

## 【手続補正2】

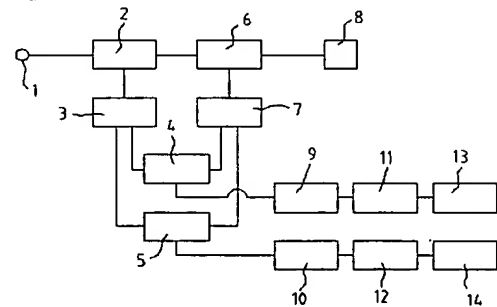
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図1

【補正方法】変更

## 【補正内容】

## 【図1】



## 【手続補正書】

【提出日】平成11年11月29日（1999. 11. 29）

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

## 【補正内容】

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高周波によるプラズマを発生させてプラズマ処理を行う装置において、プラズマ発生用チャンバ

一と、高周波電力を供給する高周波電源とを接続する伝送線路間に、同軸方向性結合器又は導波管方向性結合器よりなる方向性結合器を挿入し、該方向性結合器により進行波電力および反射波電力の位相と振幅の情報をもった信号をそれぞれ取り出し、この2信号から高周波信号合成処理回路により反射係数の絶対値、反射係数の位相を含む信号を抽出して、さらに基準化回路を用いて進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と、反射係数の絶対値×余弦信号、および反射波信号を得て、各々をA/Dコンバータを通してデジタル信号とし、デジタル信号処理を行ってスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示またはアドミタンス表示をするように構成したプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項2】 高周波によるプラズマを発生させてプラズマ処理を行う装置において、プラズマ発生用チャンバーと、高周波電力を供給する高周波電源とを接続する伝送線路間に方向性結合器を挿入し、該方向性結合器により進行波電力および反射波電力の位相と振幅の情報をもった信号をダイオードを使用したりニアライザ回路又は熱電対方式を用いて検出し、この2信号から高周波信号合成処理回路により反射係数の絶対値、反射係数の位相を含む信号を抽出して、さらに基準化回路を用いて進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と、反射係数の絶対値×余弦信号、および反射波信号を得て、各々をA/Dコンバータを通してデジタル信号とし、デジタル信号処理を行ってスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示またはアドミタンス表示をするように構成したプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【請求項3】 高周波によるプラズマを発生させてプラズマ処理を行う装置において、プラズマ発生用チャンバーと、高周波電力を供給する高周波電源とを接続する伝送線路間に方向性結合器を挿入し、方向性結合器の反射波検出用結合部分を結合方向を反転可能な構造とし、動作測定電力において進行波電力を検出しあらかじめ決め

られた減衰量の減衰器を挿入することにより、線路VSWRを較正できる如くし、該方向性結合器により進行波電力および反射波電力の位相と振幅の情報をもった信号をそれぞれ取り出し、この2信号から高周波信号合成処理回路により反射係数の絶対値、反射係数の位相を含む信号を抽出して、さらに基準化回路を用いて進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と、反射係数の絶対値×余弦信号、および反射波信号を得て、各々をA/Dコンバータを通してデジタル信号とし、デジタル信号処理を行ってスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示またはアドミタンス表示をするように構成したプラズマ処理用インピーダンス測定装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明は、高周波によるプラズマを発生させてプラズマ処理を行う装置において、プラズマ発生用チャンバーと、高周波電力を供給する高周波電源とを接続する伝送線路間に、同軸方向性結合器又は導波管方向性結合器よりなる方向性結合器を挿入し、該方向性結合器により進行波電力および反射波電力の位相と振幅の情報をもった信号をそれぞれ取り出し、この2信号から高周波信号合成処理回路により反射係数の絶対値、反射係数の位相を含む信号を抽出して、さらに基準化回路を用いて進行波信号によりこれらの信号を基準化して、反射係数の絶対値×正弦信号と、反射係数の絶対値×余弦信号、および反射波信号を得て、各々をA/Dコンバータを通してデジタル信号とし、デジタル信号処理を行ってスミスチャート上に負荷チャンバーのインピーダンス表示またはアドミタンス表示をするように構成したプラズマ処理用インピーダンス測定装置である。